水稻精準農業(耕)體系之研究
第十章　遙測與資訊技術應用於精準農業的先驅試驗
111 -126, 2000

第十章　遙測與資訊技術應用於精準農業的先驅試驗

吳啟南　蕭國鑫　陳大科　廖子毅　劉治中
工業技術研究院能源與資源研究所遙測研究室

摘要 -- 112
壹、前言 -- 112
貳、水稻田的辨識-- 113
參、空載多譜掃描儀影像分析：蔗田分類與作物光譜特性 ---------------- 116
肆、台糖農場的 GIS 資料分析-- 118
伍、引用文獻 -- 125
英文摘要(ABSTRACT) -- 126

第十章　遙測與資訊技術應用於精準農業的先趨試驗

吳啟南　蕭國鑫　陳大科　廖子毅　劉治中
工業技術研究院能源與資源研究所遙測研究室

摘　要

精準農業相關技術的研發與應用在國內正值起步的階段，其中遙測技術與資訊技術爲精準農業農耕管理、運作體系的重要一環。本文分別以遙測 SPOT 及 AMSS 資料在水稻田辨識、AMSS 資料對蔗田生長差異偵測及農作物光譜特性分析，與台糖農場地理資訊的整合比較分析產量的影響因子，先期試驗、探討遙測與資訊技術在精準農業的潛在應用。

關鍵詞：遙測技術、資訊技術、精準農業。

壹、前　言

精準農業爲一結合多項技術應用的農業經營管理系統，其所涵蓋技術包括資訊技術（Information technology）、遙測（Remote Sensing）、全球定位系統（GPS）及變異率技術（VRT）...等，用來鑑定、分析與管理農田或土壤的空間與時間變異性，決定因地制宜的農田最佳耕種實務，期能提高農作收益，同時兼顧環境保護，確保永續的農業。精準農業在美國的發展已有十餘年歷史，但仍然處於萌芽期；在台灣則仍僅處啓蒙階段，但農委會已經整合各方面專才，即將從事相關技術研發。

有關精準農業的相關技術中，地理資訊系統（GIS）及遙測技術在國內的發展與應用已有相當基礎，目前需要思考的是如何將已有的技術延伸應用到精準農業上。

遙測在精準農業方面之應用，Robert（1997）認爲可分爲土壤監測、作物生長狀態監測與管理、農機操作效益評估及空間分析等四大類。Moran 等（1997）亦認爲相當多的証據顯示遙測多光譜影像可用於土壤和作物季節性變化的監測，項目包括土壤濕度、作物不同生長期（Crop phenology）、作物成長狀態、作物蒸發散率（Evaportranspiration rate）、作物養分缺乏、作物病害、作物蟲害及野草蔓延等八項，其原理基本上都是由多光譜遙測影像的光譜變化來分析農作物的空間變異性。未來在航、遙測資料的空間解像力、光譜解析力（更多、更窄的波段）及時間解析力（攝像間隔愈來愈近）都會愈來愈佳情況下，農業遙測的實用性將大增。而 1～5 米的空間解像力、1～2 天內獲得遙測資料及生長期每隔一週獲得一次資料，爲遙測在實施精準農業的基本需求（吳，1999）。

此外利用地理資訊系統，來針對農田

的基本地理資料庫進行資料的輸入、保存、顯示、比較、計算、分析與製圖，以找出農田的變異性，從而分析出影響產量變異的原因，則是資訊技術在精準農業上最重要的角色。Usery 等（1995）甚至認為，精準農業整個運作體系的核心就是地理資訊系統（GIS）。

本文分別以水稻田的遙測辨識、AMSS 資料的蔗田生長差異偵測及農作物光譜特性分析，與台糖農場地理資訊的整合比較等三個先期試驗結果，初步探討遙測及地理資訊在精準農業上的應用。

貳、水稻田的辨識

水稻田的辨識有助於水稻種植面積的估算，進而推估產量，作為糧政的重要決策依據。目前農糧處是以航空照片進行水稻田的辨識，若遙測技術應用於水稻辨識的精確度可提高，則可節省大量人力、時間。本試驗研究以 SPOT 衛星及 DS-1260 MSS 空載多譜掃描資料，採用區塊式分類法來作試驗。

2.1 區塊式分類方法

傳統逐像元（pixel by pixel）影像分類沒有考慮實際地物分佈的空間特性，只就像元光譜反射特性判釋地表相對位置的地物類別。此種分類方式欲得到高的分類精度有其困難性；因為臺灣地區的農地坵塊面積平均以 0.3～0.5 公頃佔大多數，如此小的區域經由逐像元分類後，若影像的解像力不夠，同一坵塊地物會因光譜資訊的異質性（heterogeneity）被歸為不同類別。區塊分類法以坵塊內的地物為唯一判釋單元，同一坵塊地物分類結果相同，判釋結果亦較符合實際覆蓋狀況，對作物面積的估算較為精確，但不適用於同一塊田內作物生長差異的監測。

區塊分類法以每個區域的光譜性質為分類基礎，直接進行區域單元分類。方法是先定出各個訓練樣區的統計資訊，將各個區塊的統計資料與訓練樣區的統計資訊比對後，再決定每個區塊的類別(分類資訊如表 2-1)。

表 2-1、區塊單元記錄的 NDVI 統計資訊

ID	屬性	像元數	平均值	標準差	極小值	極大值	歸屬類別	誤差矩陣
1	3	12210	0.106	0.162	-0.23	0.15	3	33
2	2	8	0.118	0.057	0.11	0.13	1	12
3	1	14	0.131	0.037	0.12	0.14	1	11
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

屬性 1:水稻田；屬性 2:其他農作；屬性 3:非農業用地

2.2 辨識方法

不同植被的光譜反射特性會有差異，而同一種作物在不同生長期的光譜反射也會不同，NDVI 指數(公式如 2-1)亦會有所差異。研究中利用水稻的生長天數對照 SPOT 影像計算的 NDVI 指數所模擬的曲線分佈，找出獲取影像時的 NDVI 指數值或兩個不同生長期的 NDVI 差值指數來判別水稻分佈。

$$\text{NDVI} = \left(\frac{(\text{近紅外光段 } (\textit{band } 3) - \text{紅光段 } (\textit{band } 2))}{(\text{近紅外光段 } (\textit{band } 3) + \text{紅光段 } (\textit{band } 2))}\right) \qquad (2\text{-}1)$$

另空載多譜掃描（AMSS）資料的NDVI指數計算為對照SPOT影像三個波段的波長後，以空載資料的第6波段(波長0.60~0.65微米)與第7波段(波長0.65~0.69微米)的平均值代表(2-1)式之紅光段，第9波段(波長 0.80~0.89 微米)代表(2-1)式之近紅外光段，並以單一時期的NDVI指數判別水稻田。

2.3 判釋分類結果

試驗以9420-I-017萬興圖幅，分別以SPOT及空載MSS資料分析。

(a)1997年二期稻判釋結果

1997年二期稻之9420-I-017圖幅判釋統計結果如表 2-2；全體分類精度為89.18%，$\hat{k}$滿意度分析0.73；其分類成果圖如圖2-1所示，採用SPOT資料攝像日期為7/27及10/3。

(b)1999年一期稻SPOT判釋結果

1999年一期稻9420-I-017圖幅判釋統計之全體分類精度為82.56%，$\hat{k}$滿意度分析0.70；分類成果圖如圖2-2所示，其中左邊黑色區無航照判釋資料可供比對。採用資料攝像日期為4/2及5/29。

(c)1999年一期稻AMSS判釋結果

1999年一期稻9420-I-017圖幅空載多譜掃描資料判釋統計之全體分類精度為54.13%，$\hat{k}$滿意度分析0.08；其假色影像如圖2-3，分類成果圖如圖2-4所示，其中左邊黑色區無航照判釋資料可供比對。掃描日期為3/31。

表 2-2、9420-I-017 圖幅分類判釋統計結果

圖幅	原始資料	稻作期別	分類影像	全體分類精度	$\hat{k}$滿意度
9420-I-017	SPOT	86年二期稻	NDVI差值影像	89.18	0.7263
9420-I-017	SPOT	88年一期稻	NDVI差值影像	82.56	0.7015
9420-I-017	Air-borne MSS	88年一期稻	NDVI影像	54.13	0.0817

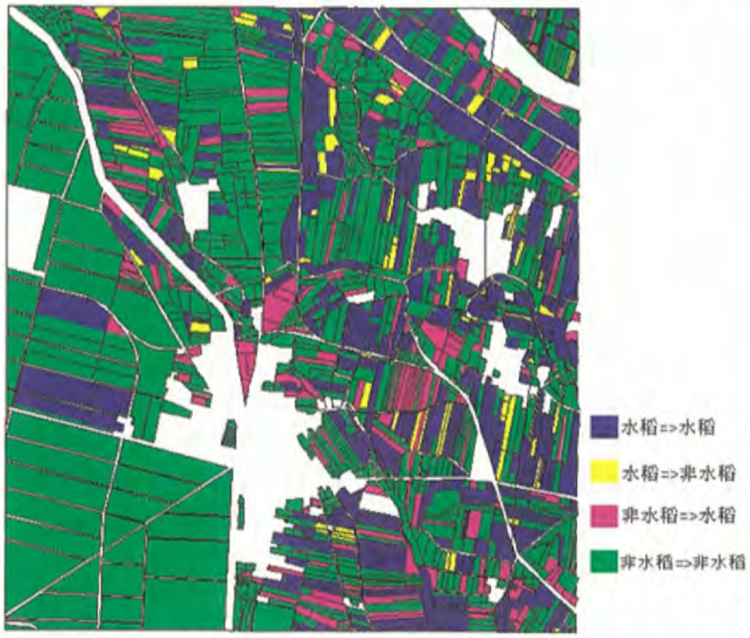

圖 2-1、1997 年二期稻 9420-I-017 圖幅 SPOT 判釋分類成果圖。

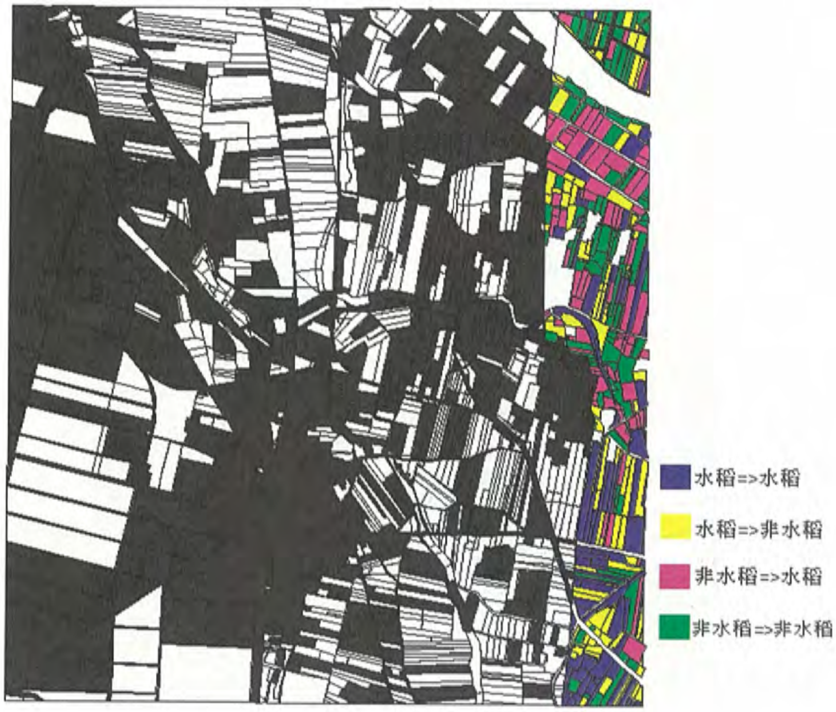

圖 2-2、1999 年一期稻 9420-I-017 圖 SPOT 判釋分類成果圖。

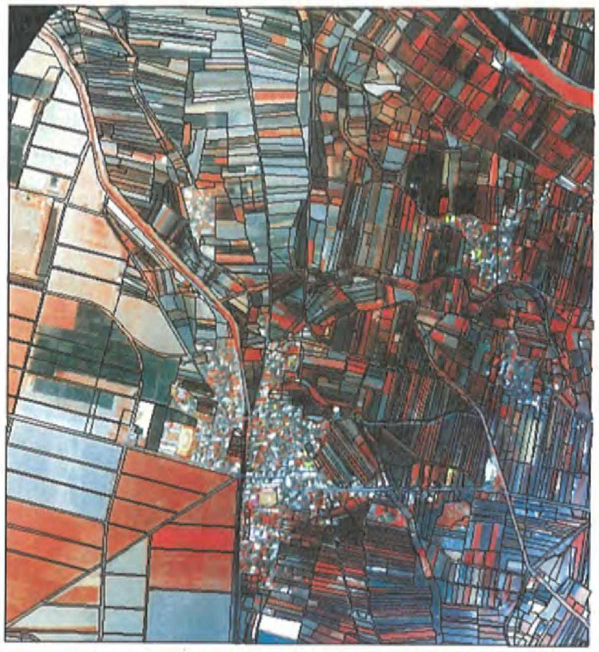

圖 2-3、1999/03/31 空載多譜掃描 4/6/9 波段假色組合影像。

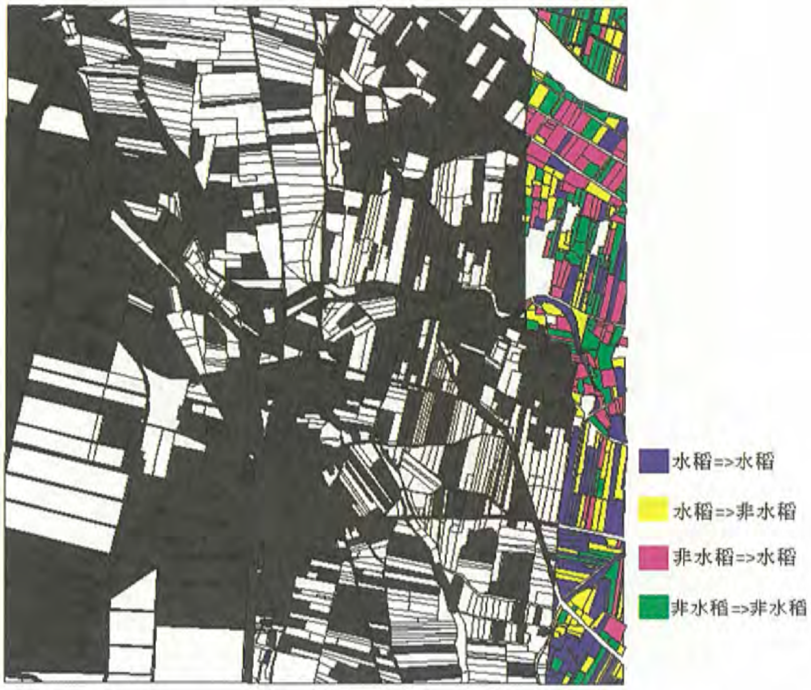

圖 2-4、空載資料 1999 年一期稻 9420-I-017 圖幅 AMSS 判釋分類成果圖。

2.4、分類結果討論

86 年二期稻水稻判釋因具有插秧期與最高分櫱期影像，可以得到相對較高分類精度；88 年一期稻沒有水稻插秧期影像，判釋結果稍差；空載影像只具有單一時期影像，且攝像時的水稻與其它植生波譜反射值不容易區分，所以分類精度最差。由此可見僅是高解像力並不見得能增加水稻田辨識精確度，未來可採用多時期的影像、改進辨識法則或利用到 AMSS 更多的波段資訊來分析，以提高精確度。

參、空載多譜掃描儀影像分析：蔗田分類與作物光譜特性

3.1 影像來源

空載多譜掃描儀（AMSS）DS-1260 MSS 為農委會於 1982 年委由工研院能資所及農委會農林航空測量所引進國內的遙測系統，可同時獲取 12 波段影像資料，包括 1 個熱紅外線波段，各波段波長範圍為 B1：0.38～0.42 微米，B2：0.42～0.45 微米，B3：0.45～0.60 微米，B4：0.50～0.55 微米，B5：0.55～0.60 微米，B6：0.60～0.65 微米，B7：0.65～0.69 微米，B8：0.70～0.79 微米，B9：0.80～0.89 微米，B10：0.92～1.10 微米，B11：3～5 微米或 8～14 微米，B12 與 B11 一樣，但 gain 不同。此系統的解像力為 2.5 毫弧度，像幅寬（Swath）為 1.86H，H：航高。此系統由農航所操作獲得高密度磁度（HDDT）資料後，送交能資所作資料的前處理轉換，再以 CD-ROM 將資料分發申請單位，並送存備份資料至中大太空及遙測中心；系統的維護保養則由工研院量測中心負責。

本試驗使用空載多譜 DS-1260 MSS 影像，飛航時間為 1998 年 11 月 19 日，航

高 5000 呎，地面解析度約 3.5 公尺。航線經過溪湖台糖萬興農場與大排沙農場，攝得部分農場影像可供分類研究。本所人員則在 1998 年 12 月 10 日進行地真調查，藉以分析不同作物的光譜特徵。

3.2 影像前處理

影像波段 1 與波段 2，波長範圍小於 450nm，因受大氣散射影響影像十分模糊（如圖 3-1 及 3-2，與自然色影像的比較），波段 10,11,12 因 S／N 低亦使品質不佳（如圖 3-3）。因此選取其中第 3～9 波段作 IARR（Internal Average Relative Reflectance）轉換以消除部分大氣效應，並使其波譜近於反射率。

圖 3-1、左圖為波段一之影像，右圖為波段二之影像。

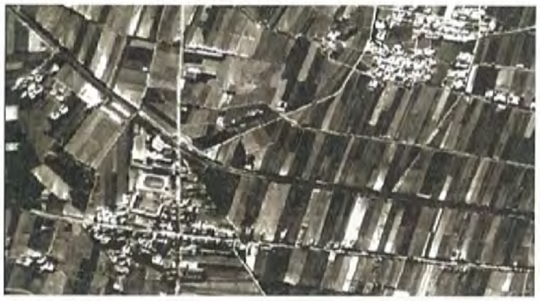

圖 3-2、左圖為波段十二之影像，右圖則為波段六、四、三組合之自然色影像。

圖 3-3、波段 11 影像掃描線位移導致條紋線。

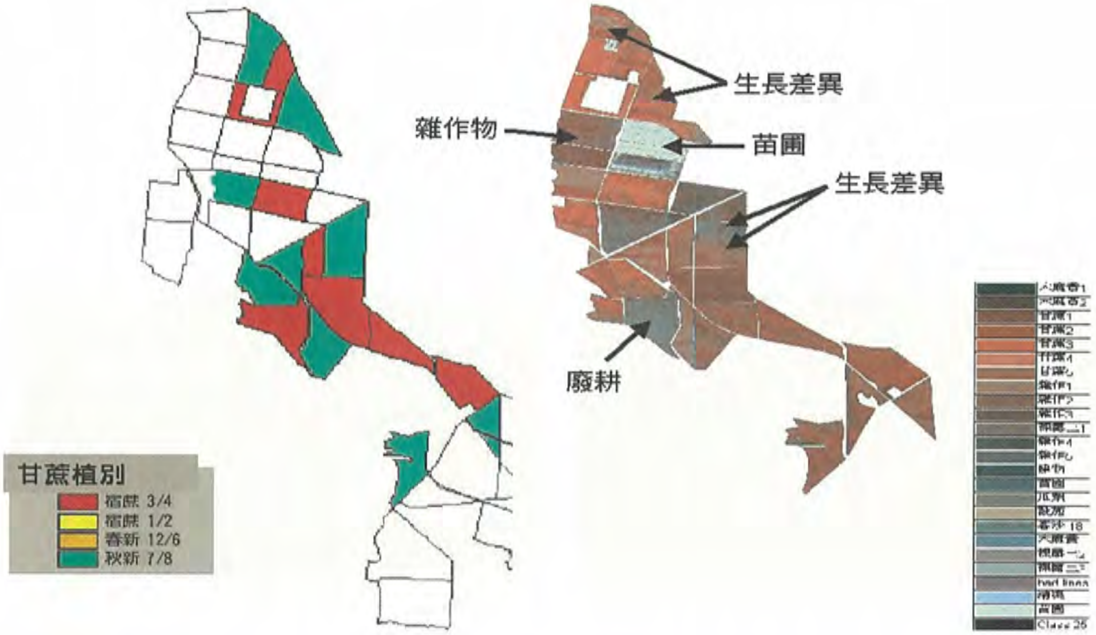

圖 3-4、左圖為蔗田植別地籍坵塊圖，右圖為分類影像。

IARR 轉換假設影像中每一個波段都有相同的大氣條件，且影像涵蓋足夠的地物使其反射率成自然分佈，因此若將像元的灰度值除以其波段的平均值，其結果與反射率間應近於一平移關係，獲得相對反射率。

3.3 分類結果

ARR 轉換後之第 3～9 波段影像資料，再利用 ERDAS/IMAGINE 的 ISODATA 軟體進行影像的非監督式分類，類別計 25 類。圖 3-4 左圖為台糖萬興農場的甘蔗植別地籍圖，右圖即為分類後影像，比較左、右圖可知。以像元為單位的分類影像可在同一植別的區塊內明顯分出不同的生長差異，而這個差異可能原因包括施肥、施水、病蟲...等因素，最終可能造成產量的差異。利用遙測監測農作生長目的在希望能及早發現變異，以利管理。此外左下區田塊按記錄是一區宿蔗，但影像分類圖中卻發現其早已廢耕。

從以上的初步試驗可知，高解像、多光譜的空載多譜掃描影像可用來偵測農作物的異常生長狀況，這在農作物的精準管理上有潛在應用。

比對地真調查記錄，從影像中擷取出 11 種作物及地表波譜如 3-5 圖，圖中可見部份類別在波長 450～500nm，600～700nm，750～850nm 光譜分離度較大，有助日後遙測影像分類應用的參考。亦即只要選擇適當波段，利用多光譜遙測資料，可應用於不同作物的辨別。

肆、台糖農場的 GIS 資料分析

在實施符合精準農業的農耕實作時，建立農田的基本地理資料庫是必須持之以恆的工作，舉凡作物的品種、種植日期、地籍、土壤種類與肥力、施肥種類與量、施水、氣候、病害、蟲害、雜草、產

量…等都要巨細靡遺地記錄、累積下來，作為日後分析、找出產量變異的影響因素，在下次種植時再用變異率技術（VRT），針對不同農田因地置宜實施農田經營管理，以減少支出、提高產量、增加收益。所有建立的資料都必須是地理同位地整合在一地理資訊系統（GIS）。

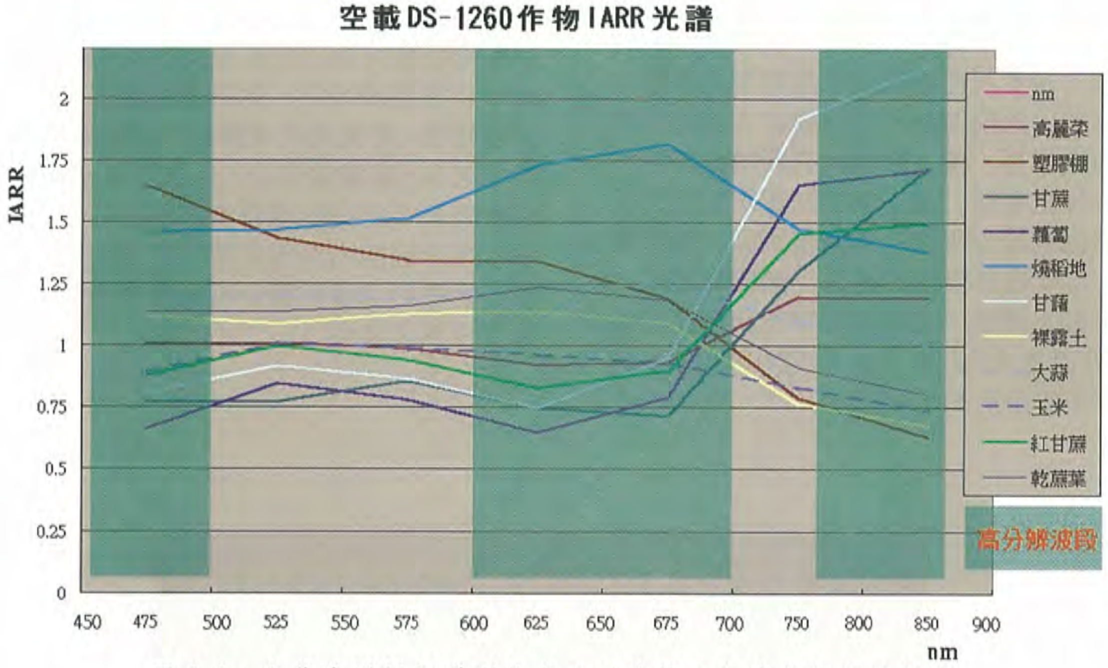

圖 3-5、空載多譜掃描儀影像對不同作物之各波段相對反射率

由於目前國內尚無大型農場利用精準農業的理念來管理農田，因此仍缺乏實施運作的實例。只有台糖在全省各地的自營農場其面積及坵塊較大，且在種植過程中有較詳細的記錄，可利用來作初步的 GIS 資料分析，比較影響產量的因子，以下採用台糖位於彰化溪湖的萬興農場及大排沙農場的 GIS 資料來作先期的試驗分析。

4.1 資料蒐集

圖 4-1 為 85/11/30 SPOT 衛星影像，北方為萬興農場，面積 561 公頃，南方為大排沙農場，面積 578 公頃，攝像時大部份蔗田都尚未收割，在圖 4-1 的假色影像中呈現紅色的蔗田坵塊。農場在種植過程中記錄的資料包括土壤種類、面積、植別（新植或宿根）與月份、品種、雜作面積、施肥種類、量與日期、施藥種類與量及收獲月份與單位蔗量等。表 4-1 即為大排沙農場 85/86 年期蔗田的種植數據。

4.2 資料建立與分析

地籍坵塊圖及水井位置、鄉鎮界、河系利用農場提供地圖以 ARC/INFO GIS 軟體點圖建檔（圖 4-2）。其他如表 4-1 中之數據則以屬性（attribute）方式利用關連式資料庫連結到每個對應坵塊上，以 ArcView 軟體展示。圖 4-3 即為蔗產量分佈圖（yield map），圖 4-4 為硫酸銨施肥量分佈圖。

如何分析診斷作物產量與諸多影響因子間的關係，是實施精準農業所要面臨的大問題。以本試驗而言，影響蔗產量的

重要因子如土壤種類、施肥及植別等，經初步定性地比較，看不出土壤對蔗量有明顯的影響，此因國內蔗種對土壤的選擇性並不嚴格，自疏鬆的石礫地到粘重的粘土都可種蔗。圖 4-5 為產量與施肥的比較，底圖為產量分佈圖，疊於每一坵塊上的直方圖為複合 2 號肥、尿素 1 及硫酸銨的施肥量，初步判釋施肥對產量的變異影響亦不明顯，此因所有蔗田的複合 2 號肥的單位施肥量都一樣，尿素只對新植蔗施用，單位施肥量亦一樣；新植蔗比宿根蔗的硫酸銨施肥量少兩倍，但同植別亦一樣。圖 4-6 為產量與植別的比較，底圖為植別，直方圖為產量，比較結果可見新植蔗的產量明顯比宿根蔗大，單位平均值分別 97474 公斤及 61299 公斤。

4.3 討論

台糖的收獲記錄只有單位產蔗量，並無產糖量的記錄，後者才是精準栽培時較有意義的數據，亦即分析產糖量和各種因子的關係，並據以調整耕種經營方式以增加產糖量，才是蔗田精準管理的目的。本試驗分析雖可看出蔗產量受植別的影響最大，新植產量較佳，但這是農場方面早已知道知識；新植蔗產量雖佳，但投入人力、尿肥較多、硫酸銨較小，且需育苗、整地，是否划算？需要整體經濟分析評估。本試驗僅在示範說明 GIS 在精準農業的可能應用，實際的產量變異分析當更為複雜，且需農經專才參與。

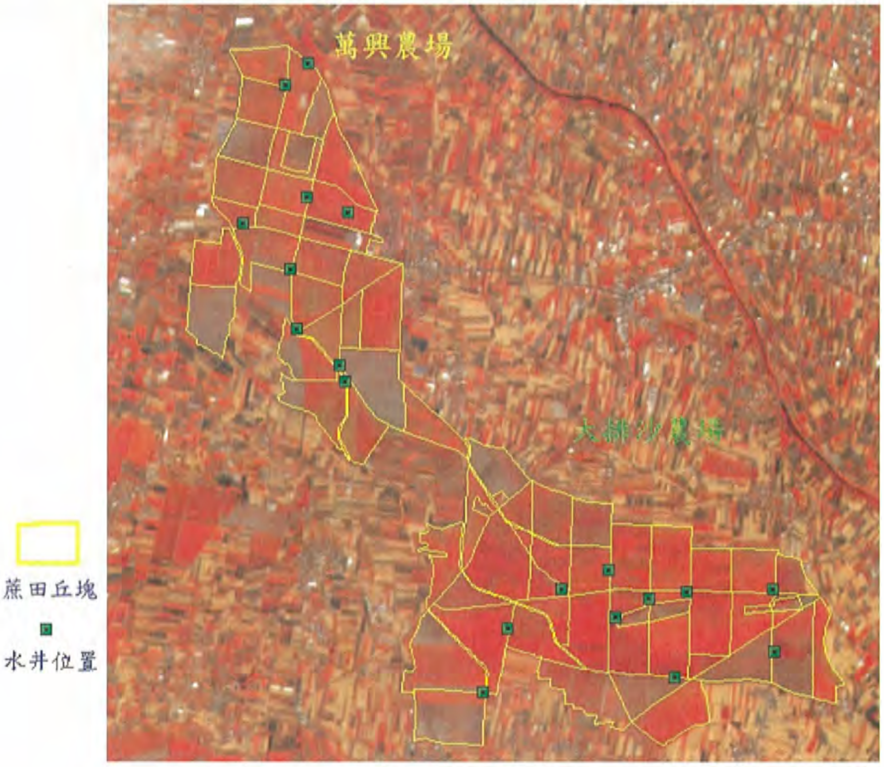

圖 4-1、彰化台糖農場 SPOT 衛星影像（1996/11/30）

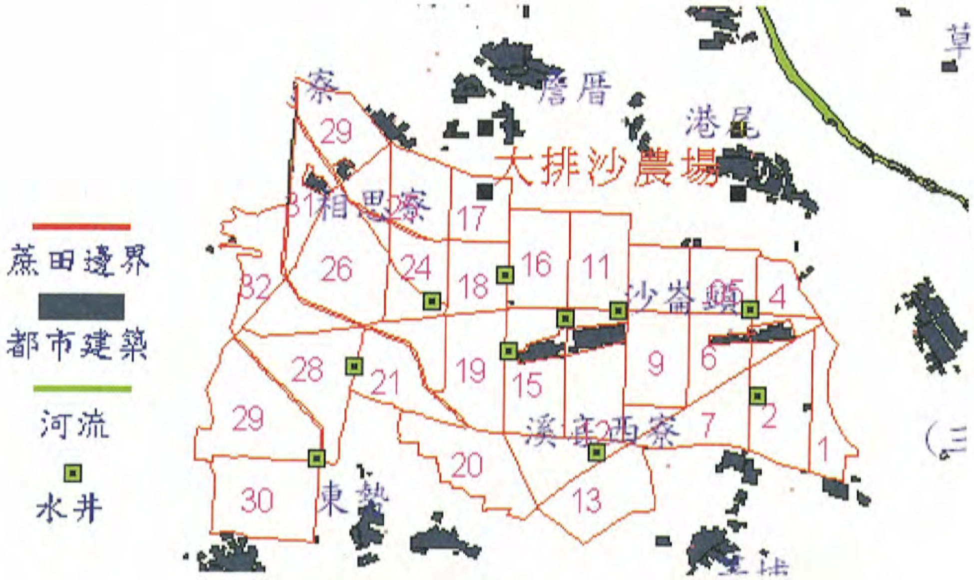

圖 4-2、台糖大排沙農場蔗田坵塊 GIS 圖

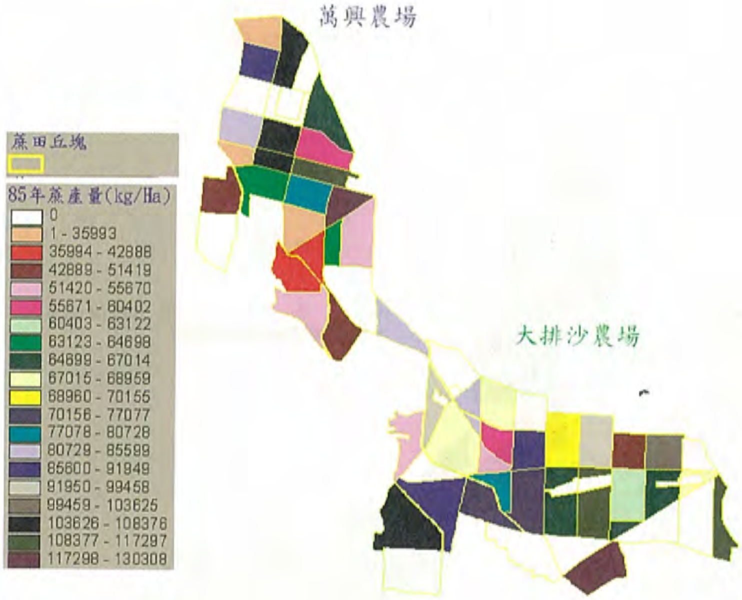

圖 4-3、彰化台糖農場 85/86 年產量圖

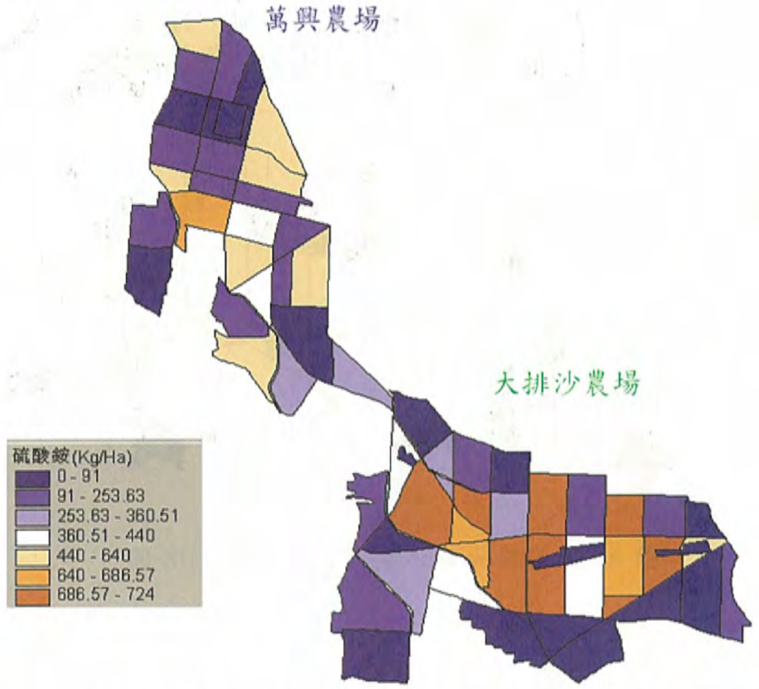

圖 4-4、彰化台糖農場 85/86 年硫酸銨施肥量圖

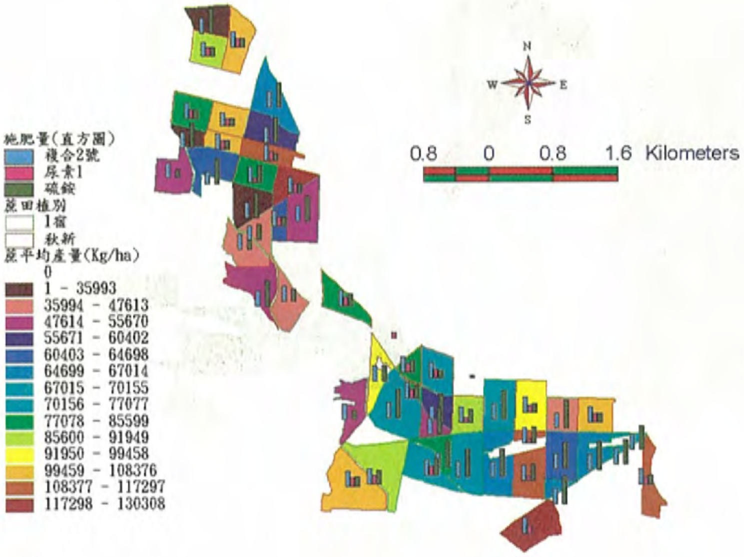

圖 4-5、彰化台糖農場 85/86 年蔗產量與施肥關係圖

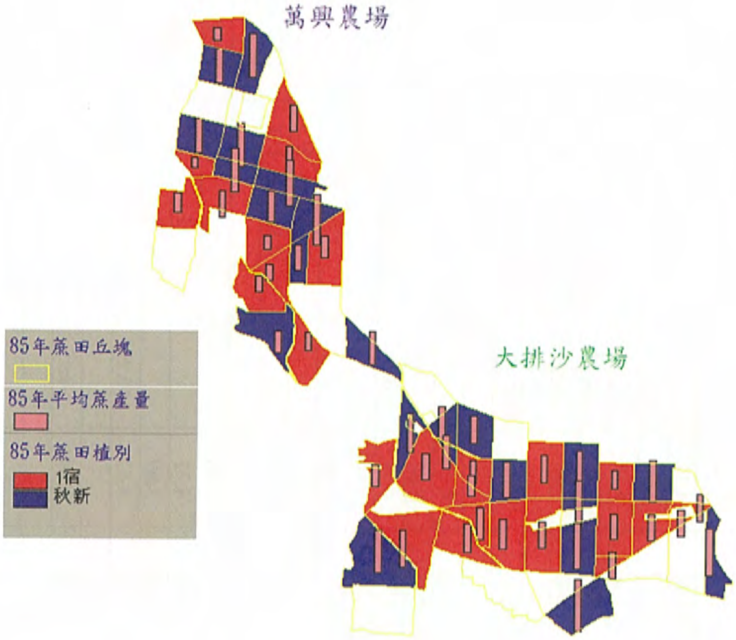

圖 4-6、彰化台糖農場 85/86 年甘蔗種植別與產量關係圖

表 4-1、台糖大排沙農場精耕資料庫

坵塊編號	土壤分類	面積(公頃)	植別	種植時期	種植品種	香米	瓜類	綠肥	複合2號	尿素	硫酸銨	施肥日期	藥Ametryne	藥Diuron	藥Paraquat	藥Glyphosate	收穫日期	平均蔗產量
25	30	18.26	秋新	7/下	C020				398.68	240.96	201.53	84.10.23	2.73	2.90		4.32	12/下	68959
17	27	15.45					15.45				91.00							0
26	39	33.37	1宿	3/下	C016				400.35		719.20	85.06.11	6.29	6.23		0.66	3/上	67825
16	30	28.17	1宿	1/下	C009				400.42		719.91	85.06.14	4.77	4.77		0.42	2/中	70155
11	27	24.98	秋新	8/中	C009				400.32	200.16	240.19	84.11.11	4.11	4.31	0.28		1/上	97235
24	27	11.94	1宿	1/下	C009				402.01		716.92	85.06.10	5.32	4.90	1.72		2/中	60402
18	27	15.76	秋新	8/中	C020				406.09	149.75	335.03	84.11.30	3.74	3.74		0.65	12/上	89333
10	27	15.25	1宿	3/上	C020				398.70		718.70	85.06.14	5.64	5.70	0.37		1/上	47201
5	30	17.00	秋新	8/中	C020				400.00	240.00	240.00	84.11.29	3.47	3.88		0.84	1/上	103625
4	27	13.06					9.43											0
23	39	6.70	1宿	2/上	C001				400.00		686.57	85.06.14	4.91	4.69		1.50	12/上	55403
27	39	10.38						10.38										0
15	39	17.18	1宿	2/下	C016				400.46		721.77	85.06.06	4.02	4.02		0.48	2/下	67014
19	39	27.11	1宿	1/下	C010				401.32		720.03	85.06.13	5.66	5.66		0.29	2/下	77077
9	39	22.07	1宿	3/中	C009				400.50		672.00	85.06.19	4.78	4.78	0.32		2/中	63122
6	39	17.34	1宿	3/中	C009				399.00		720.00	85.06.08	3.92	3.92		0.20	2/中	66139
3	39	4.43	1宿	3/中	C020				406.00		605.00	85.06.17	3.50	3.50	3.02		1/下	68515
22	39	7.34	1宿	1/下	C009				360.00		670.30	85.06.14	4.11	4.11		1.63	2/下	80728
1	28	15.15	秋新	7/下	C009				401.00	211.00	243.00	84.10.26	2.43	4.00		0.56	1/下	117297
2	39	28.17				12.26												0
28	37	29.99	1宿	2/中	C009				400.13	240.34	360.51	85.06.03	3.96	4.06		1.18	12/下	91949
21	29	18.55	1宿	12/下	C001				401.08	231.51	429.11	85.06.04	4.63	4.71		1.13	1/下	74265
29	37	32.21	秋新	8/下	C016				397.15	231.36	253.63	85.02.09	3.69	3.69		4.73	1/中	106502
12	39	20.80	秋新	8/下	C009				402.00	123.07	423.08	84.11.15	4.62	4.62	0.99		2/上	113293
7	39	18.57				18.57												0
8	39	4.20	1宿	2/中	C016				400.00		724.00	85.06.09	3.80	3.80	0.95		1/下	65698
20	39	24.81					13.36	11.45										0
14	39	16.20				6.10	10.10											0
13	39	25.19	秋新	8/中	C001				400.16	200.17	239.77	84.11.08	3.70	4.22	0.40		12/中	130308
30	37	38.15						38.15										0

伍、引用文獻

1. 吳啟南（1999）：精準農業之發展，1999年北美華人學術研討會，1999/7/1-3，Washington, D.C.
2. Moran, M.S., Y. Inoue, and E.M Barnes (1997), Opportunities and Limitations for Image-Based Remote Sensing in Precision Crop Management. Remote Sensing Environ., 61:31-346.
3. Robert, P.C. (1997), Remote Sensing : A Potentially Powerful Technique for Precision Agriculture. Land Satellite Information in the Next Decade II, Dec.4, 1997, Washington D.C.
4. Usery, E.L., S. Pocknee and B. Boydell (1995), Precision Farming Data Management Using Geographic Information Systems. PERS Vol.61, No.11, pp.1383-1391.

Chapter 10 Preliminary Study on the Application of Remote Sensing and GIS for Precision Agriculture

Chi-nan Wu, Kuo-shing Hsiao, Dah-ko Chen,
Tzu-yi Liao, and Chi-chnung Lau
Remote Sensing Division, Energy and Resource Lab.,
Industrial Technology Research Institute, Chutung, Hsinchu, Taiwan 310, ROC

ABSTRACT

The development and application of the technologies relevant to precision agriculture (PA) is still on the initial stage in Taiwan, among which remote sensing (RS) and GIS play an important role for crop management and the operation of PA. In this paper, three cases are presented to pursue potential application of RS and GIS in PA. First, SPOT and AMSS data are used for the identification of rice paddy ; second , the application of AMSS data for the detection of sugarcane growth anomaly and the spectral analysis of various crops are discussed ; finally, GIS data of a sugarcane farm of TSC are integrated for preliminary comparison trying to find the factors affecting sugarcane yield.

Key words: Remote Sensing technology, Information technology, Precision agriculture.